

**PENDUGAAN POTENSI SUMBER AIR TANAH DI DESA
PESANGGRAHAN KOTA BATU JAWA TIMUR
MENGUNAKAN METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS**

SKRIPSI

**Oleh:
MOCHAMMAD ERSYAD RACHMAN
135090700111008**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

**PENDUGAAN POTENSI SUMBER AIR TANAH DI DESA
PESANGGRAHAN KOTA BATU JAWA TIMUR
MENGUNAKAN METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana sains dalam bidang Fisika**

**Oleh:
MOCHAMMAD ERSYAD RACHMAN
135090700111008**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENDUGAAN POTENSI SUMBER AIR TANAH DI DESA
PESANGGRAHAN KOTA BATU JAWA TIMUR
MENGUNAKAN METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS

Oleh:

MOCHAMMAD ERSYAD RACHMAN

135090700111008

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal

Dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Pembimbing I

Pembimbing II

Sukir Maryanto, Ph.D

NIP. 197106211998021001

Ahmad Nadhir, Ph.D

NIP. 197412031999031002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Prof. Dr. rer. nat Muhammad Nurhuda

NIP. 19640910199021001



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mochammad Ersyad Rachman
NIM : 135090700111008
Jurusan : Fisika
Penulisan Skripsi berjudul :

**PENDUGAAN POTENSI SUMBER AIR TANAH DI DESA
PESANGGRAHAN KOTA BATU JAWA TIMUR
MENGUNAKAN METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS**

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya dari nama-nama yang tercantum di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Skripsi ini, digunakan semata-mata sebagai referensi/acuan.
2. Apabila di kemudian hari diketahui bahwa Skripsi yang saya tulis terbukti hasil plagiat, maka saya bersedia bertanggung jawab atas segala risiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, Juli 2018
Yang menyatakan,

(Mochammad Ersyad Rachman)
NIM. 135090700111008



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PENDUGAAN POTENSI SUMBER AIR TANAH DI DESA PESANGGRAHAN KOTA BATU JAWA TIMUR MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS

ABSTRAK

Persediaan air yang semakin berkurang membuat masyarakat Desa Pesanggrahan membutuhkan sumber air baru. Salah satu solusinya yaitu dengan pengeboran sumber air tanah. Identifikasi bawah permukaan dilakukan untuk memastikan keberadaan lapisan akuifer dan mengurangi kegagalan dalam proses pengeboran air tanah. Telah dilakukan penelitian menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi Schlumberger. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui lapisan batuan di bawah permukaan dan mengetahui potensi keberadaan air tanah. Pengambilan data dilakukan pada 7 titik pengukuran yang masing-masing titik memiliki bentangan hingga 125 meter dengan spasi elektroda potensial M dan N tetap yaitu 5 meter dan elektroda arus A dan B meningkat dari 5 meter hingga 125 meter. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa lapisan bawah permukaan di daerah penelitian tersusun atas 4 lapisan batuan, yaitu *clay*, *sandstone*, *tuff*, dan *lava*. Berdasarkan hasil pemodelan, lapisan batuan yang diduga sebagai lapisan akuifer yaitu lapisan batuan *tuff* dengan nilai resistivitas sebesar 50-90 Ωm dan berada di kedalaman 20-36 meter dari permukaan. Akuifer ini merupakan akuifer bebas (*unconfined aquifer*).

Kata kunci: Metode geolistrik resistivitas, Konfigurasi Schlumberger, Akuifer, Air tanah, Desa Pesanggrahan.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ESTIMATION OF POTENTIAL GROUNDWATER RESOURCE AT PESANGGRAHAN VILLAGE BATU CITY EAST JAVA USING ELECTRICAL RESISTIVITY METHOD

ABSTRACT

Increasingly decreasing water supply makes Pesanggrahan citizens need a new water resource. One of the solutions is to drill the groundwater resource. Subsurface identification is conducted to ensure the presence of ground water and to reduce failure in groundwater drilling. Has been done research using electrical resistivity method with Schlumberger configuration. Study of groundwater resources is to find out the subsurface layers and the potential existence of ground water. Data were collected at 7 points measurement with potential electrode spacing between M and N at 5 meter and current electrode A and B increased from 5 meter to 125 meter. The results of data processing shows that the subsurface in the research area is structured of 4 layers of rock that clay, sandstone, tuff, and lava. Based on the modeling result, tuff is estimated as an aquifer layer with range of resistivity value from 50-90 Ωm with a depth at 20-36 meter from the surface. This aquifer is a unconfined aquifer.

Keywords : Electrical resistivity method, Schlumberger configuration, Aquifer, Groundwater, Pesanggrahan Village.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr Wb.

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **Pendugaan Potensi Sumber Air Tanah di Desa Pesanggrahan Kota Batu Jawa Timur Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas** untuk memenuhi persyaratan kelulusan sarjana tingkat Strata-1 (S1) di jurusan Fisika Universitas Brawijaya.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu, membimbing, dan terlibat dalam proses pembuatan Tugas akhir ini, diantaranya kepada:

1. Kedua orang tua penulis yaitu Rachman Sutiadi dan Retno Budiatiningsih yang selalu memberikan doa, semangat, motivasi, dan dukungan berupa materil hingga sekarang.
2. Adik – adik dari penulis yaitu Izka Erizka Rachmawati, Ervira Rachmadanti, dan Mochammad Eryas Rachman yang selalu memberikan semangat setiap saat.
3. Bapak Sukir Maryanto, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Wakil Dekan II Fakultas MIPA sekaligus Dosen Pembimbing I yang telah memberikan ilmu, bimbingan, nasihat, dan izin dalam terlaksananya Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ahmad Nadhir, S.Si., MT., Ph.D selaku Sekertaris Jurusan Fisika sekaligus Dosen Pembimbing II yang telah memberikan masukan dan saran dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Imam Wahyudi selaku Kepala Desa, Bapak Ahmad Choir, dan Mas Dafiqiy selaku tokoh masyarakat Desa Pesanggrahan yang telah membantu dan memberikan izin atas terlaksananya penelitian yang dilakukan di Desa Pesanggrahan.
6. Bapak Purnomo selaku laboran Lab. Geofisika Universitas Brawijaya.
7. Tim akuisisi data lapangan yang terdiri dari Giftson F. Hutabarat, Risiko Pratama Yuda, Masdukhon Aris W, Hadi

- Tulus W, Taufiqurrahman Nur A, Mandala Tunggul Sinaga, Ahmad Ridho yang memberikan banyak bantuan kepada penulis dari awal hingga akhir penelitian.
8. Segenap keluarga besar dan Dosen Jurusan Fisika serta Fakultas MIPA Universitas Brawijaya atas segala ilmu dan bimbingan yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
 9. Keluarga besar Program Studi Geofisika angkatan 2013 khususnya Giftson, Risiko, Jesica, Suhendra yang memberikan banyak bantuan dan dukungan selama proses penulisan Tugas Akhir ini.
 10. Perwita Sari yang telah memberikan semangat, doa, dan dukungan selama proses penulisan Tugas Akhir ini.
 11. Semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan Tugas Akhir yang penulis tidak dapat sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Saran dan kritik dari semua pihak sangat diharapkan agar dapat membantu perbaikan dalam penulisan selanjutnya.

Semoga penyusunan dan penulisan Skripsi ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Malang, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
LEMBAR PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Daerah Penelitian	5
2.1.1 Kondisi Geografis.....	5
2.1.2 Kondisi Geologis	6
2.2 Air Tanah.....	7
2.2.1 Porositas dan Permeabilitas	8
2.2.2 Karakteristik Batuan Terhadap Air Tanah.....	11
2.2.3 Jenis-jenis Akuifer	11
2.3 Metode Geolistrik	12
2.3.1 Potensial Listrik dalam Medium Homogen	14
2.3.2 Elektroda Arus Tunggal di Permukaan.....	16
2.3.3 Dua Elektroda Arus di Permukaan	17
2.3.4 Konfigurasi dalam Metode Geolistrik Resistivitas	19
2.3.5 Resistivitas Semu.....	20

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	23
3.1.1 Waktu Pelaksanaan	23
3.1.2 Tempat Pelaksanaan.....	23
3.2 Peralatan Penelitian	24
3.3 Metode Penelitian	25
3.4 Proses Pelaksanaan Penelitian	25
3.4.1 Akuisisi Data.....	25
3.4.2 Pengolahan Data	27
3.4.3 Interpretasi Data.....	28
3.4.4 Diagram Alir Penelitian	29

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian.....	31
4.2 Kurva <i>Sounding</i>	32
4.3 Interpretasi Jenis Batuan.....	35
4.4 Hasil Pemodelan 2D dan <i>Fence</i> Diagram.....	36
4.5 Potensi Keberadaan Air Tanah	39
4.6 Penentuan Titik Bor Air Tanah.....	40

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran	43

DAFTAR PUSTAKA	45
----------------------	----

LAMPIRAN	49
----------------	----

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Peta desa pesanggrahan	5
Gambar 2.2 Peta geologi Malang Jawa Timur	6
Gambar 2.3 Daur hidrologi.....	8
Gambar 2.4 Akuifer bebas dan akuifer terkurung	12
Gambar 2.5 Potensial disekitar titik arus di dalam bumi.....	14
Gambar 2.6 Sumber titik arus pada permukaan medium yang homogen.....	16
Gambar 2.7 Dua elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan.....	17
Gambar 2.8 Garis ekuipotensial dan aliran arus untuk dua titik arus di permukaan pada lapisan homogen (<i>Homogeneous ground</i>) (a) tampak atas dan (b) belahan vertikal	18
Gambar 2.9 Konfigurasi elektroda geolistrik dan faktor Geometri	19
Gambar 3.1 Daerah penelitian	23
Gambar 3.2 Peralatan akuisisi	24
Gambar 3.3 <i>Input</i> data geolistrik pada <i>software IPI2win</i>	27
Gambar 3.4 Kurva <i>sounding</i>	28
Gambar 3.5 Diagram alir penelitian	29
Gambar 4.1 Hasil kurva <i>sounding</i>	32
Gambar 4.2 Model stratigrafi bawah permukaan	37
Gambar 4.3 <i>Fence diagram</i>	38
Gambar 4.4 Lokasi titik bor yang berpotensi	40



DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1	Nilai porositas dan permeabilitas	10
Tabel 2.2	Harga tahanan jenis spesifik batuan	21
Tabel 2.3	Kisaran nilai resistivitas batuan.....	22
Tabel 3.1	Tabel akuisisi data	26
Tabel 4.1	Hasil perhitungan kurva <i>sounding</i>	34
Tabel 4.2	Hasil identifikasi batuan	35





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Foto-foto akuisisi data.....	49
Lampiran 2 Tabel hasil pengukuran data	50
Lampiran 3 Surat permohonan Yayasan Nurul Hidayah Desa Pesanggrahan	57





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan aspek yang penting bagi kehidupan, terutama bagi manusia. Selama ini kebutuhan manusia akan air sangatlah besar, oleh sebab itu air tidak dapat terlepas dari kehidupan manusia. Permukaan bumi memiliki luas mencapai 510 juta km², sekitar 71% merupakan bentangan perairan. Dari jumlah keseluruhan air yang terdapat di bumi, 97,2 % merupakan air laut sedangkan 2,8 % merupakan air yang berupa air baku (*fresh water*). Dari jumlah air baku tersebut, sekitar 70 % berbentuk benua dan gunung es di kutub bumi, dan sisanya 30 % berada di bawah tanah. Namun dari data tersebut, hanya tersedia kurang dari 1 % air baku yang siap untuk didayagunakan oleh manusia. Air tersebut berada di danau, sungai, dan sumur dangkal. Ini menunjukkan bahwa air merupakan salah satu sumberdaya yang banyak terdapat di muka bumi namun juga sangat terbatas untuk digunakan oleh manusia dalam memenuhi kebutuhan sehari – hari.

Air dapat disebut sebagai energi, yang merupakan hal penting bagi pertanian, industri, dan hampir semua sisi kehidupan manusia. Di Indonesia, keberadaan air cukup berlimpah karena Indonesia merupakan negara dengan curah hujan yang tinggi, tetapi mulai dirasa tidak mencukupi tingkat kebutuhan. Dengan kelimpahan sumberdaya air yang dimiliki Indonesia, tidak menjamin ketersediaan air di beberapa daerah. Bervariasinya iklim serta rentannya sistem sumberdaya air terhadap perubahan iklim akan mempengaruhi status krisis air dengan meningkatnya frekuensi banjir dan panjangnya kekeringan, sehingga membuat ketersediaan air semakin tidak dapat mengimbangi peningkatan kebutuhan akan air bersih.

Salah satu cara untuk mendapatkan sumber air yaitu mengambil air dari sumber yang berada di bawah permukaan tanah dengan membuat sumur atau bor. Sumber tersebut dikenal sebagai air tanah. Air tanah merupakan air yang berada di bawah permukaan

bumi yang berasal dari hujan, kemudian mengalami proses infiltrasi. Proses infiltrasi yaitu proses meresapnya air ke bawah permukaan tanah melalui celah – celah dan retakan batuan kemudian berkumpul dalam ruang pori terbuka atau lapisan batuan yang mempunyai kemampuan menyimpan air yang disebut sebagai akuifer.

Di Indonesia, daerah dengan keterbatasan air didominasi di daerah pedesaan, salah satu penyebabnya yaitu dengan akses yang cukup jauh dan terjal sehingga dapat mempersulit pemerintah untuk menyalurkan air bersih ke daerah tersebut. Oleh karena itu, masyarakat pedesaan memerlukan sumber air yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air bagi masyarakatnya. Seperti yang terjadi di Desa Pesanggrahan. Desa Pesanggrahan merupakan desa yang terletak di kecamatan Batu Kota Batu Jawa Timur yang memiliki luas daerah sekitar 6994 ha dengan jumlah penduduk mencapai 10.725 jiwa. Menurut masyarakat setempat, di desa tersebut sudah memiliki sumber air namun persediaan yang semakin berkurang membuat masyarakat harus menemukan sumber air tanah baru yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi keberlangsungan hidup masyarakat sekitar.

Selama ini, masyarakat Desa Pesanggrahan telah melakukan survei air tanah dengan melakukan cara tradisional dengan memperkirakan jika suatu daerah sekitar desa tersebut memiliki sumber air tanah. Namun hasilnya masih belum bisa dipastikan keberadaannya, sehingga tidak dapat dilakukan pengeboran air tanah. Oleh karena itu, sebelum melakukan pengeboran air tanah, sebaiknya dilakukan identifikasi bawah permukaan terlebih dahulu. Identifikasi bawah permukaan dilakukan untuk mencari potensi sumber air baru dengan melihat kondisi struktur bawah permukaan serta menemukan keberadaan lapisan akuifer air tanah di daerah tersebut. Hal ini diperlukan untuk menghindari kegagalan dalam melakukan pengeboran air, mengingat dana yang diperlukan dalam melakukan suatu pengeboran air tanah cukup banyak.

Dalam melakukan identifikasi keberadaan lapisan batuan pembawa air (akuifer), terdapat beberapa cara yang dapat dilakukan, salah satunya dengan menggunakan metode geofisika yaitu metode geolistrik resistivitas (tahanan jenis). Metode geolistrik resistivitas ini dapat digunakan untuk memperoleh gambaran lapisan batuan

bawah permukaan yang memanfaatkan sifat tahanan jenis batuan. Prinsip dari metode ini yaitu dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam tanah melalui dua buah elektroda arus. kemudian arus listrik menjalar melalui medium bumi dan besarnya arus dapat diukur dalam bentuk beda potensial sehingga akan diperoleh informasi nilai resistivitas di bawah permukaan. Berdasarkan informasi nilai resistivitas batuan tersebut, maka lapisan batuan pembawa air (akuifer) dapat diidentifikasi.

Berdasarkan pada latar belakang tersebut, dilakukan penelitian dengan judul “Pendugaan Potensi Sumber Air Tanah di Desa Pesanggrahan Kota Batu Jawa Timur Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas”, untuk memberikan informasi potensi keberadaan air tanah berupa dugaan kedalaman akuifer dan posisi titik bor yang berpotensi di daerah tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana gambaran struktur lapisan batuan bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas dari titik – titik pengukuran di daerah penelitian?
2. Dimana keberadaan lapisan batuan pembawa air tanah berdasarkan hasil pemodelan bawah permukaan di daerah penelitian?
3. Dimana lokasi titik bor yang berpotensi untuk dilakukan pengeboran air tanah di daerah penelitian?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Daerah penelitian dilakukan di Desa Pesanggrahan Kecamatan Batu Kota Batu dengan 7 titik *sounding* menggunakan konfigurasi *Schlumberger*.
2. *Software* yang digunakan untuk pengolahan data yaitu *sodtware IPI2win* dan *software RockWorks16*.
3. Pengolahan data dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi struktur bawah permukaan dan keberadaan lapisan batuan

pembawa air tanah berdasarkan nilai resistivitas batuan di daerah penelitian.

4. Penentuan lokasi titik bor air tanah berdasarkan litologi batuan yang berpotensi memiliki air tanah, diperoleh dari interpretasi pemodelan di daerah penelitian.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi struktur lapisan bawah permukaan dari titik–titik pengukuran berdasarkan nilai resistivitasnya.
2. Mengidentifikasi keberadaan akuifer air tanah berdasarkan hasil pemodelan bawah permukaan di daerah penelitian.
3. Menentukan lokasi titik bor yang paling berpotensi dilakukannya pengeboran di daerah penelitian.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kondisi struktur bawah permukaan tanah berdasarkan nilai resistivitasnya, serta informasi mengenai keberadaan akuifer air tanah yang dapat dijadikan pertimbangan untuk melakukan pengeboran sumur air tanah di daerah penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Daerah Penelitian

2.1.1 Kondisi Geografis

Desa Pesanggrahan merupakan desa yang terletak di Kecamatan Batu, Kota Batu Jawa Timur. Secara geografis desa ini berada pada koordinat koordinat $7^{\circ}51'35.05''$ LS - $7^{\circ}53'31.04''$ LS dan $112^{\circ}29'35.65''$ BT - $112^{\circ}31'15.89''$ BT (Gambar 2.1). Desa Pesanggrahan memiliki luas wilayah sebesar 69, 64 km², dengan sebagian besar wilayahnya di kelilingi oleh perkebunan dan hutan bambu. Desa ini terdapat sumber air yang dinamakan Sumber Tengalo yang terletak pada koordinat $07^{\circ} 52'29.0''$ LS $112^{\circ} 30' 08.5''$. Desa ini dibatasi oleh beberapa wilayah, berikut merupakan batas – batas wilayah Desa Pesanggrahan:

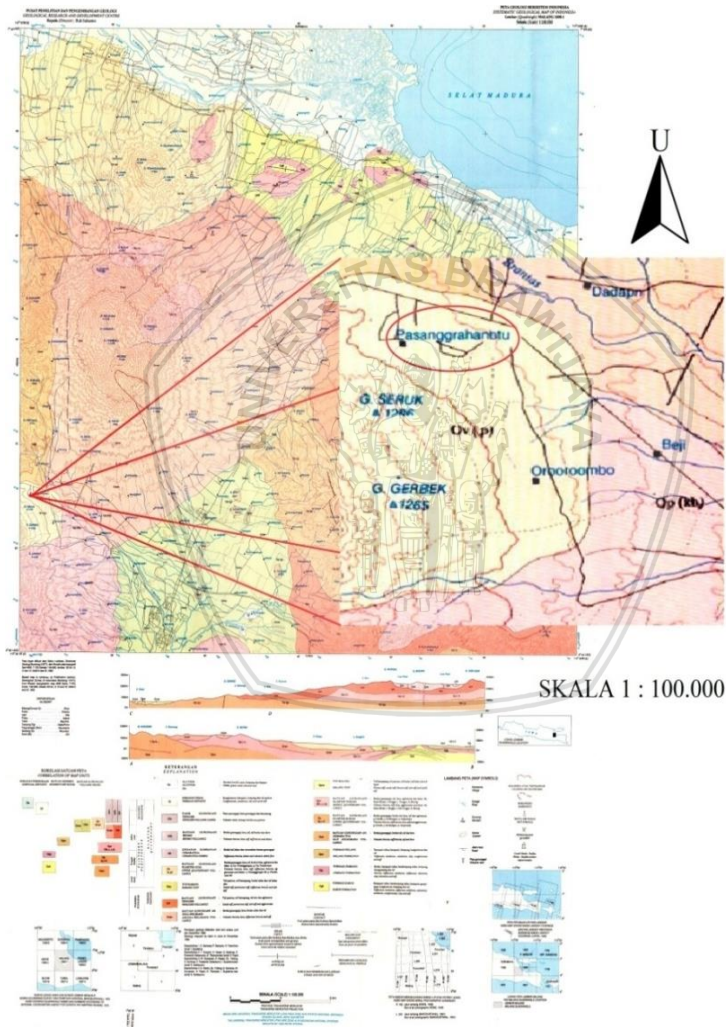
- Batas Utara : Desa Sumberejo
- Batas Selatan : Kawasan Perhutani
- Batas Timur : Kelurahan Ngaklik
- Batas Barat : Kelurahan Songokerto



Gambar 2.1 Peta Desa Pesanggrahan (*Google Earth*, 2018)

2.1.2 Kondisi Geologis

Berdasarkan pada peta geologi Malang Jawa Timur, Desa Pesanggrahan merupakan daerah yang didominasi oleh batuan gunungapi seperti gamping, breksi, dan tuf. Letak geologis Desa Pesanggrahan ditunjukkan oleh Gambar 2.2 yang ditandai dengan lingkaran merah pada peta.



Gambar 2.2 Peta Geologi Malang Jawa Timur (Santosa, 1992)

Merujuk pada peta geologi Malang, Desa Pesanggrahan disusun atas batuan yang berasal dari zaman Kuartar. Desa ini berada pada daerah dengan kode Ov. Kode Ov merupakan kode yang menyatakan bahwa daerah tersebut tersusun atas batuan gunungapi Kuartar atas yang berasal dari breksi gunung api, lava, tuff, breksi tuffan, aglomerat, dan lahar.

2.2 Air Tanah

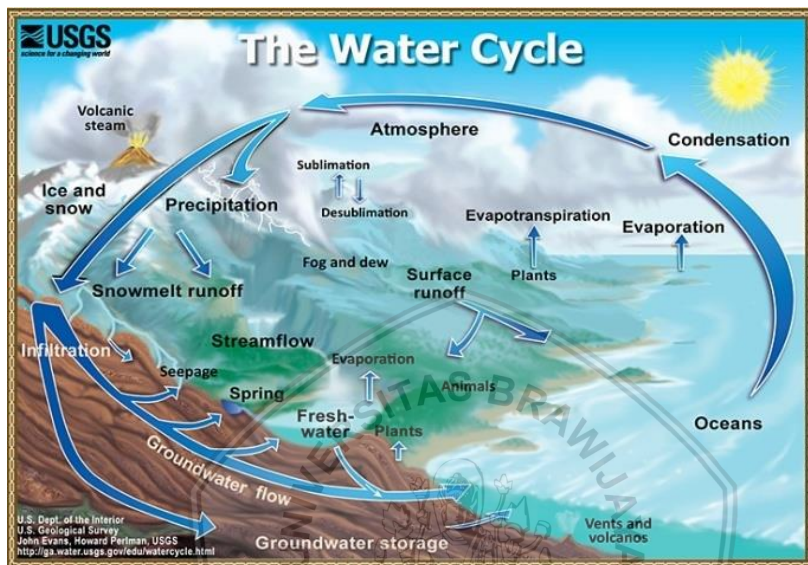
Air tanah merupakan air yang berada di bawah permukaan tanah yang mengisi rongga-rongga didalam lapisan batuan. Air tanah terbentuk melalui siklus peredaran air di bumi yang disebut daur hidrologi, yaitu proses yang berlangsung pada air di alam yang mengalami perpindahan tempat secara berurutan dan terus menerus (Kodoatie, 2012).

Proses daur hidrologi dimulai dengan menguapnya air samudera. Ketika uap mencapai atmosfer dan mendingin hingga titik embunnya, maka akan membeku menjadi butiran air dan berbentuk awan atau kabut. Dalam kondisi meteorologis yang sesuai, butiran-butiran air akan berkembang cukup besar sampai akhirnya jatuh ke permukaan bumi sebagai hujan. Sekitar dua per tiga dari curah hujan yang mencapai ke permukaan tanah akan kembali ke udara melalui penguapan. Sisa dari curah hujan yang tidak mengalami penguapan akhirnya kembali ke lautan melalui aliran-aliran di atas ataupun dibawah tanah (Anwar dan Prastumi, 2013).

Daur hidrologi merupakan proses siklus air yang dapat mempengaruhi ketersediaan air khususnya air tanah. Gambar 2.3 menunjukkan proses daur hidrologi, energi panas matahari menyebabkan terjadinya proses evaporasi atau penguapan air yang berada di permukaan bumi. Uap air tersebut akan terangkat ke atmosfer dan mengalami proses perubahan suatu gas atau uap menjadi butiran air yang disebut kondensasi sehingga membentuk awan.

Dalam keadaan tertentu, awan yang berada di atmosfer akan berubah menjadi hujan. Beberapa hujan turun seperti salju dan dapat terakumulasi sebagai es dan gletser yang akan mencair pada waktu tertentu dan mengalir ke daratan sebagai lelehan salju. Air dalam bentuk salju, butiran es, dan hujan diatas permukaan bumi sebagian

akan mengalir kembali ke lautan dan sebagian lainnya meresap ke dalam tanah atau yang disebut infiltrasi dan bergerak masuk ke dalam tanah melalui celah-celah permukaan tanah.



Gambar 2.3 Daur Hidrologi (USGS, 2016)

Berbagai proses geologi tertentu, memungkinkan air tanah tersebut dapat muncul kembali ke permukaan dalam bentuk rembesan atau sebagai mata air. Sebagian air hujan yang tidak meresap ke dalam tanah akan menjadi air limpasan yang selanjutnya mengisi danau, sungai, laut, dan permukaan air lainnya. Sedangkan sebagian air yang berada di dalam tanah bagian atas dan yang terjebak di tumbuhan akan menguap kembali sebagai evapotranspirasi. Dan juga sebagian air yang meresap ke dalam tanah akan mengisi lapisan akuifer dan tersimpan dalam jumlah yang besar dan untuk dalam jangka waktu yang lama (USGS, 2016).

2.2.1 Porositas dan Permeabilitas

Porositas suatu medium merupakan perbandingan antara volum rongga-rongga pori dengan volume seluruh batuan yang diukur dari kemampuan batuan dalam menyimpan air.

Perbandingan ini biasa dinyatakan dalam persen seperti ditunjukkan dalam persamaan 2.1 (Koesoemadinata, 1980).

$$\phi = \frac{U_p}{U} \times 100\% \quad (2.1)$$

Dimana :

- ϕ = Porositas
- U_p = Volume pori-pori
- U = Volume keseluruhan batuan

Hampir seluruh batuan batuan dapat menyimpan air. Beberapa batuan sedimen seperti batu pasir memiliki kemampuan menyimpan air dalam jumlah yang cukup besar karena cenderung memiliki porositas yang tinggi (Carlson, 2011). Porositas yang dimiliki batupasir dihasilkan dari proses sedimentasi yang dipengaruhi oleh proses-proses geologi. Proses ini terbagi atas dua tahap yaitu proses pada saat pengendapan dan proses setelah pengendapan. Proses pada saat pengendapan dapat mempengaruhi bentuk tekstur batupasir (ukuran butir dan sortasi) sedangkan proses setelah pengendapan berhubungan dengan pengaruh porositas terhadap faktor kimia dan fisika yang merupakan fungsi dari temperatur, tekanan efektif, dan waktu (Nurwidyanto dkk, 2005). Dalam istilah terdapat suatu porositas yang disebut sebagai porositas efektif yang diartikan sebagai perbandingan volum pori atau rongga yang saling berhubungan dengan volum total batuan yang dinyatakan dalam persen (%).

Permeabilitas merupakan suatu sifat batuan untuk dapat meloloskan fluida seperti air melalui pori-pori, tanpa merusak partikel pembentuk atau kerangka batuan tersebut (Koesoemadinata, 1980). Beberapa batuan memiliki kemampuan meloloskan fluida yang bervariasi. Kemampuan tersebut dipengaruhi oleh ketahanan setiap batuan terhadap aliran fluida yang melaluinya. Beberapa faktor yang mempengaruhinya yaitu jenis, ukuran, dan bentuk partikel dari batuan tersebut. Semakin kecil ukuran partikel dan pori dari sebuah batuan, semakin sulit batuan tersebut dapat meloloskan fluida.

Batuan yang dapat dengan mudah meloloskan fluida disebut batuan *permeable*, sedangkan batuan yang sulit atau tidak dapat meloloskan fluida disebut dengan batuan *impremeable* (Tang, dkk., 2016).

Pada Tabel 2.1, menunjukkan beberapa nilai porositas dan permeabilitas batuan.

Tabel 2.1. Nilai porositas dan permeabilitas batuan menurut Sosrodarsono dan Takeda (2003).

Lapisan Tanah	Porositas (%)	Porositas efektif (%)	Koefisien Permeabilitas m ² /det
Lempung (Allivium)	45-50	5-10	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁵
Silt (Alluvium)	35-45	5-8	10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁵
Pasir (Alluvium)	30-45	20-25	10 ⁻¹ - 10 ⁻⁶
Pasir dan Kerikil (Alluvium)	25-30	15-20	10 ⁻¹ - 10 ⁻⁶
Lempung (Dillivium)	50-60	3-5	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁶
Silt (Dillivium)	40-50	5-10	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁶
Pasir (Dillivium)	35-40	15-20	10 ⁻² - 10 ⁻³
Pasir dan Kerikil (Dillivium)	30-35	10-20	10 ⁻² - 10 ⁻³
Batu Lumpur (Neo-Tersier)	55-65	3-5	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁶
Batu Pasir (Neo-Tersier)	40-50	5-10	10 ⁻³ - 10 ⁻⁴
Tufa (Neo-Tersier)	30-65	3-10	10 ⁻³ - 10 ⁻⁶

2.2.2 Karakteristik Batuan Terhadap Air Tanah

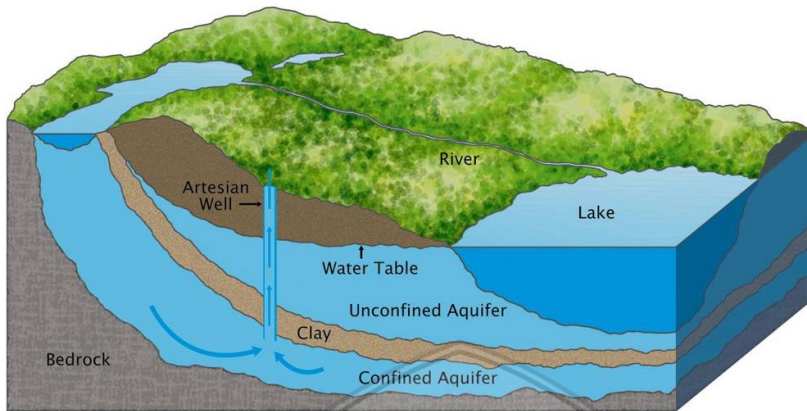
Air tanah berasal dari proses daur hidrologi yang berlangsung di alam, penyebaran dan pergerakan air tanah dapat dipengaruhi oleh batuan yang berada dibawah permukaan tanah (Danaryanto dkk, 2005). Berdasarkan atas sikap batuan terhadap air, terdapat beberapa karakteristik batuan, yaitu:

1. Akuifer (lapisan pembawa air) adalah lapisan batuan jenuh air yang dapat menyimpan dan mengalirkan air dalam jumlah yang cukup banyak karena lapisan ini memiliki permeabilitas dan porositas yang baik. Salah satu contohnya seperti batu pasir, gamping, dan gravel.
2. Akuikud (lapisan batuan kedap air) adalah lapisan batuan jenuh air yang dapat menyimpan air tetapi tidak mampu mengalirkan air tanah dalam jumlah yang banyak. Salah satu contohnya seperti lempung, *shale*, tuf halus.
3. Akuitar (lapisan batuan lambat air) adalah lapisan batuan yang dapat menyimpan air yang tidak dapat mengalirkan air dalam arah horizontal, namun dapat mengalirkan air yang cukup kearah vertikal. Salah satu contohnya seperti lempung pasir.
4. Akuiflug (lapisan batuan kedap air) adalah lapisan batuan kedap air yang tidak dapat menyimpan air dan tidak dapat mengalirkan air. Salah satu contohnya seperti granit.

2.2.3 Jenis-jenis Akuifer

Secara umum, akuifer terbagi atas dua macam yaitu akuifer bebas (*unconfined aquifer*) dan akuifer terkurung (*confined aquifer*) (Gambar 2.4). Akuifer bebas merupakan akuifer yang berada diatas lapisan kedap. Akuifer ini terbentuk pada saat tinggi muka air tanah (*water table*) menjadi batas atas zona tanah jenuh. Akuifer ini juga disebut sebagai zona saturasi dibawah permukaan. Sedangkan akuifer terkurung merupakan akuifer yang batas atas dan batas bawahnya dibatasi oleh lapisan kedap atau lapisan *impermeable*. Air yang berada pada akuifer ini merupakan air yang biasa disebut air artesis (Kruselman dan De Ridder, 1991 dan Jain, 2014).

Aquifer



Gambar 2.4 Akuifer bebas dan akuifer terkurung (*National Geographic*, 2011)

2.3 Metode Geolistrik

Pada dasarnya metode pengamatan geofisika merupakan metode yang digunakan dalam pengamatan gejala-gejala gangguan yang terjadi dibawah permukaan bumi. Gangguan ini dapat berupa gangguan yang bersifat statik maupun bersifat dinamik yang dipancarkan ke bawah permukaan bumi. Gejala gangguan yang terjadi pada keadaan normal disebut dengan anomali. Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang mempelajari sifat kelistrikan batuan di dalam bumi dengan cara pendeteksian diatas permukaan bumi. Diantaranya melalui pengukuran potensial, pengukuran arus medan elektromagnetik yang terjadi secara alami maupun akibat injeksi arus ke dalam bumi. Oleh karena itu metode geolistrik mempunyai banyak macam, yaitu metode potensial diri (*self potential*), metode tahanan jenis (*resistivity*), arus *telluric*, metode *Magnetotellurik*, dan potensial terimbas (Reynold, 2011).

Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu metode geolistrik yang digunakan untuk mempelajari keadaan bawah permukaan bumi dengan cara mempelajari sifat tahanan jenis batuan di bawah permukaan terhadap arus listrik. Sehingga akan didapatkan beda potensial yang terukur dan selanjutnya didapatkan perbedaan

tahanan jenis masing-masing batuan dibawah permukaan (Reynold, 2011 dan Santosa, 2002).

Resistansi atau tahanan jenis merupakan suatu parameter yang dijadikan landasan tingkat hambatan suatu batuan terhadap arus listrik. Berdasarkan sumber arus listrik yang digunakan:

1. Metode pasif merupakan metode yang menggunakan arus listrik yang muncul akibat adanya aktivitas elektro kimia dan elektro mekanik dalam material-material penyusun batuan. Metode geolistrik yang memanfaatkan adanya arus listrik alam antara lain potensial diri dan *magnetotellurik*.
2. Metode aktif merupakan metode yang menggunakan arus listrik yang diinjeksikan kedalam tanah kemudian terukur beda potensialnya yang dijadikan sebagai acuan. Metode geolistrik yang memanfaatkan sumber arus aktif antara lain metode resistivitas dan induksi polarisasi (Tachjudin, 1990).

Resistansi adalah hambatan yang dimiliki oleh suatu medium yang diasumsikan sebagai silinder yang memiliki panjang L dan luas penampang atau area A yang dilewati arus, yang dapat dirumuskan dalam persamaan 2.2 sebagai berikut:

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (2.2)$$

Dimana:

- R = resistansi/hambatan (Ω)
 ρ = resistivitas/ hambatan jenis (Ωm)
 ℓ = panjang silinder (m)
 A = luas penampang (m^2)

Sedangkan menurut hukum Ohm, arus listrik searah yang dialirkan melalui suatu medium akan menghasilkan perbandingan yang bernilai tetap antara beda potensial ΔV yang terjadi dengan arus I yang diberikan.

Tetapan tersebut dapat dirumuskan dalam persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (2.3)$$

Dari persamaan 2.2 dan 2.3, maka didapatkan nilai resistivitas ρ seperti ditunjukkan dalam persamaan 2.4 sebagai berikut:

$$\rho = \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \left(\frac{A}{\ell} \right) \quad (2.4)$$

Dimana :

R = resistansi/hambatan (Ω)

ΔV = beda potensial (volt)

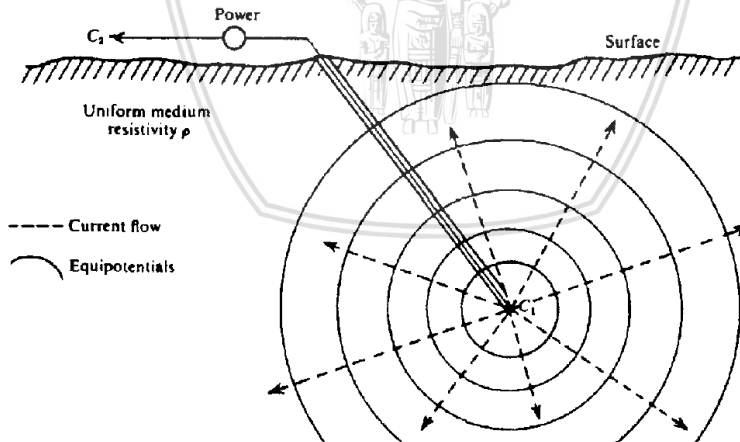
I = kuat arus (ampere)

ℓ = panjang silinder (m)

A = luas penampang (m^2)

2.3.1 Potensial Listrik dalam Medium Homogen

Apabila suatu medium homogen isotropis diberikan suatu arus tunggal, maka potensial bawah permukaannya akan berbentuk seperti pada Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Potensial disekitar titik arus di dalam bumi (Telford, dkk., 1990)

Gambar 2.5 merupakan asumsi ketika suatu permukaan yang homogen diinjeksikan aliran arus I , berbentuk seperti bola yang memiliki luas penampang A , dan jari-jari r . Jika diketahui suatu nilai rapat arus listrik J berbanding lurus dengan kuat arus I yang mengalir pada medium dan semakin kecil luas penampang, maka nilai rapat arus akan semakin besar sehingga menghasilkan persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$J = \frac{I}{A} \quad (2.5)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} J &= \text{rapat arus (A/m}^2\text{)} \\ I &= \text{kuat arus (ampere)} \\ A &= \text{luas penampang (m}^2\text{)} \end{aligned}$$

Medium homogen isotropis yang dialiri arus listrik kecepatan rata-rata pembawa muatan konstan besarnya sebanding dengan kuat medan listrik E , sehingga membuat rapat arus sebanding dengan kuat medan E .

Dalam relasi matematik, pernyataan tersebut dapat dirumuskan melalui persamaan 2.6 sebagai berikut:

$$J = \sigma E \quad (2.6)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} E &= \text{medan listrik (volt/m)} \\ \sigma &= \text{konduktivitas medium (S/m)} \end{aligned}$$

Sehingga dari persamaan 2.6 dapat diperoleh persamaan 2.7 dan persamaan 2.8 sebagai berikut:

$$\frac{I}{A} = \frac{1}{\rho} \frac{\Delta V}{r} \quad (2.7)$$

$$\frac{I}{4\pi r^2} = \frac{1}{\rho} \frac{\Delta V}{r} \quad (2.8)$$

Maka didapatkan nilai beda potensial dan resistivitas pada injeksi arus satu titik di dalam bumi pada persamaan 2.9 dan 2.10

$$\Delta V_{(r)} = \frac{I\rho}{4\pi r} \quad (2.9)$$

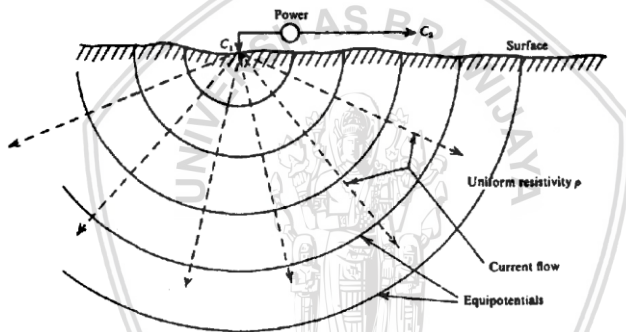
$$\rho = 4\pi r \frac{\Delta V}{I} \quad (2.10)$$

Dimana :

ρ	= resistivitas/ hambatan jenis (Ωm)
π	= konstantan = 3,14
r	= jari-jari medium (m)
ΔV	= beda potensial (volt)
I	= kuat arus (ampere)

2.3.2 Elektroda Arus Tunggal di Permukaan

Ketika suatu medium yang homogen isotropis dialirkan arus listrik dari sebuah elektroda tunggal, maka akan mengakibatkan aliran arus yang menyebar secara radial di dalam tanah dan jika diatas medium tersebut terdapat udara yang memiliki konduktivitas sebesar nol maka garis potensialnya akan berbentuk setengah bola.



Gambar 2.6 Sumber titik arus pada permukaan medium yang homogen (Telford, dkk., 1990)

Gambar 2.6 merupakan asumsi permukaan medium homogen yang dialirkan arus I yang berbentuk setengah lingkaran dengan memiliki luas sebesar $2\pi r$ dengan jari-jari r , menghasilkan nilai yang hampir sama dengan penjalaran arus (persamaan 2.11) dengan satu titik di dalam bumi, namun hanya berbeda pada nilai luasan A , sehingga nilai beda potensial (persamaan 2.12) dan resistivitas (persamaan 2.13) untuk injeksi arus dipermukaan bumi sebagai berikut:

$$\frac{I}{2\pi r^2} = \frac{1}{\rho} \frac{\Delta V}{r} \quad (2.11)$$

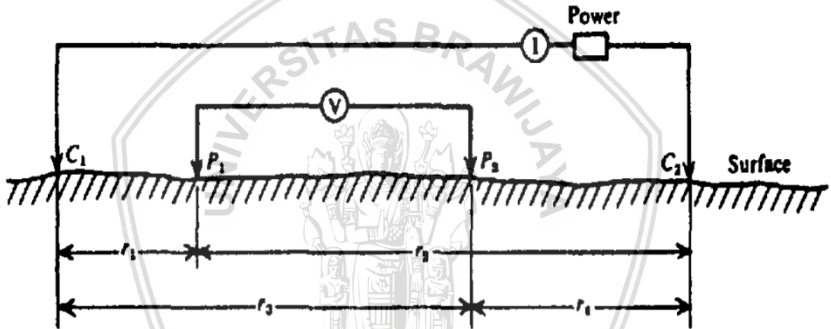
$$\Delta V(r) = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (2.12)$$

$$\rho = 2\pi r \frac{\Delta V}{I} \quad (2.13)$$

2.3.3 Dua elektroda arus dipermukaan

Suatu medium yang dialirkan arus listrik menggunakan dua elektroda arus seperti pada Gambar 2.7, akan memiliki potensial dipermukaan yang bergantung pada jarak antara kedua elektroda tersebut. Potensial yang dihasilkan dari C_1 pada P_1 dapat dirumuskan melalui persamaan 2.14 sebagai berikut:

$$\Delta V_1 = -\frac{A_1}{r_1} \text{ dimana } A_1 = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.14)$$



Gambar 2.7 Dua elektroda arus dan dua elektroda potensial pada permukaan (Telford, dkk., 1990)

Karena arus yang dialirkan pada dua elektroda tersebut sama dan saling berhubungan langsung, maka potensial yang dihasilkan dari C_2 pada P_2 dirumuskan melalui persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$\Delta V_2 = -\frac{A_2}{r_2} \text{ dimana } A_2 = -\frac{I\rho}{2\pi} = -A_1 \quad (2.15)$$

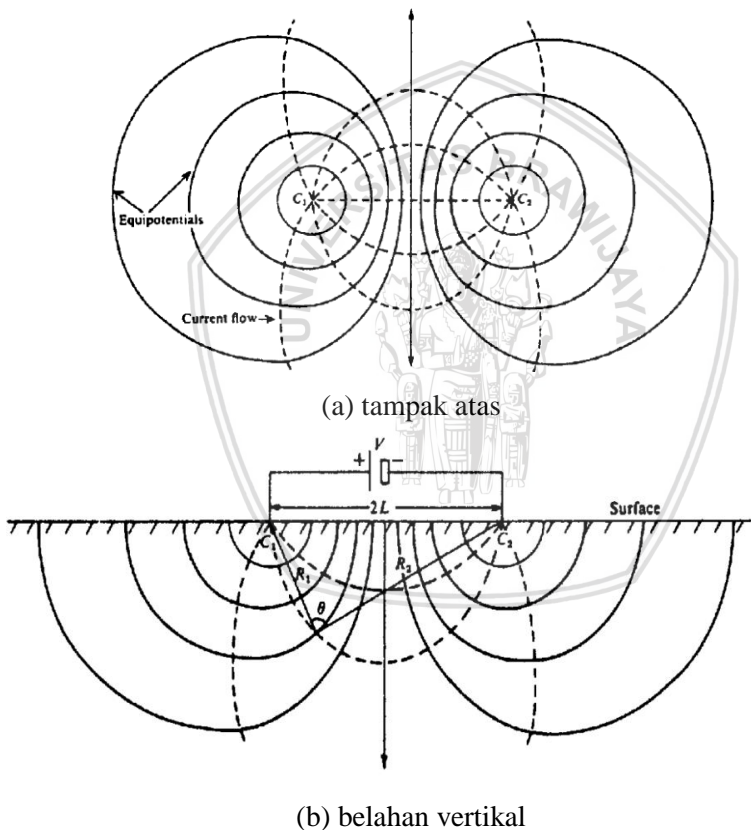
Sehingga dari persamaan 2.14 dan persamaan 2.15 akan didapatkan persamaan 2.16 sebagai berikut:

$$\Delta V_1 + \Delta V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.16)$$

Setelah didapatkan potensial pada elektroda P₂, maka dapat diukur beda potensial antara P₁ dan P₂ menggunakan persamaan 2.17 sebagai berikut:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (2.17)$$

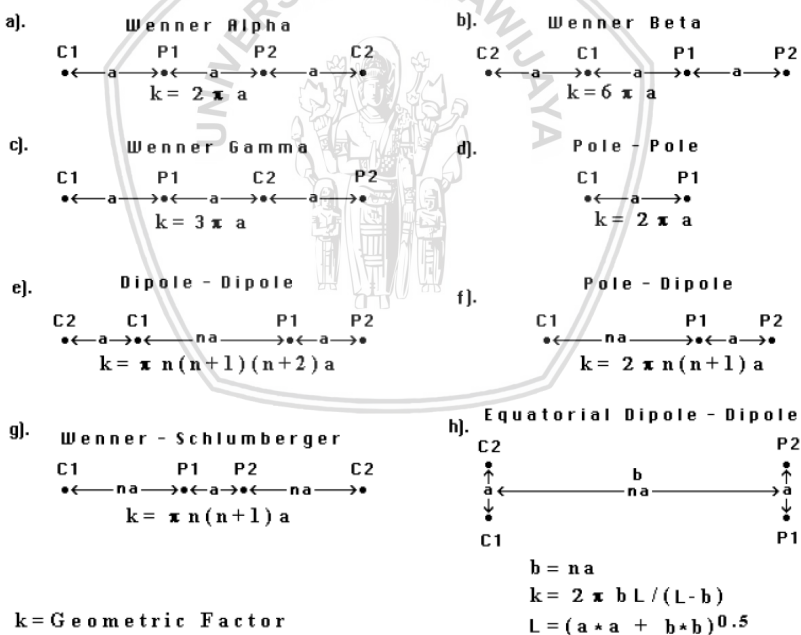
Potensial yang terdapat pada dua elektroda yang dialirkan arus listrik ke dalam permukaan bumi ditunjukkan pada Gambar 2.8. Kemudian dapat dilihat garis ekuipotensial yang terjadi pada dua elektroda arus tersebut (Telford, dkk., 1990)



Gambar 2.8. Garis ekuipotensial dan aliran arus untuk dua titik arus di permukaan pada lapisan homogen (*Homogeneous ground*)
(a) tampak atas dan (b) belahan vertikal (Telford, dkk., 1990)

2.3.4 Konfigurasi dalam Metode Geolistrik Resistivitas

Metode geolistrik resistivitas terdiri dari beberapa konfigurasi yang masing-masing konfigurasi memiliki perhitungan masing-masing. Konfigurasi yang dimaksud merupakan aturan pengambilan data di lapangan dengan susunan elektroda arus dan elektroda potensial tertentu. Umumnya, metode geolistrik resistivitas menggunakan empat buah elektroda, dengan dua buah elektroda arus sebagai sumber arus (elektroda A dan elektroda B) dan dua buah elektroda lainnya merupakan elektroda potensial sebagai pengukur beda potensial (elektroda M dan elektroda N). Keempat elektroda tersebut ditempatkan pada satu garis simetris. Dalam konfigurasi elektroda, terdapat suatu besaran yang digunakan sebagai faktor untuk mengoreksi berbagai konfigurasi elektroda yang biasa disebut faktor geometri. Beberapa konfigurasi dalam metode geolistrik resistivitas dan faktor geometrinya ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Konfigurasi elektroda geolistrik dan faktor geometri (Loke, 1999)

Dengan mengubah jarak antar elektroda, dapat diperoleh variasi nilai tahanan jenis terhadap kedalaman. Setelah didapatkan hasil pengukuran dilapangan, perhitungan nilai tahanan jenis merupakan fungsi dari konfigurasi elektroda dan berkaitan dengan kedalaman penetrasinya. Semakin panjang bentangan elektrodanya, maka penetrasi arus yang didapatkan akan semakin dalam (Santoso, 2002).

2.3.5 Resistivitas Semu

Dengan mengasumsikan bahwa bumi memiliki sifat homogen isotropis, maka resistivitas yang terukur merupakan resistivitas sebenarnya dan tidak bergantung pada spasi dari elektroda. Namun kenyataannya bumi terdiri dari beberapa lapisan dengan resistivitas yang berbeda-beda sehingga potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Di daerah penelitian, batuan atau tanah umumnya tidak homogen, dimana bumi merupakan medium berlapis yang mempunyai nilai resistivitas yang berbeda-beda. Maka dari itu resistivitas yang terukur bukan merupakan *true resistivity* melainkan *apparent resistivity* atau resistivitas semu (Reynold, 2011).

Untuk menentukan besarnya nilai resistivitas semu batuan dapat dihitung menggunakan persamaan 2.18 sebagai berikut:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.18)$$

Dimana :

- ρ_a = resistivitas semu
- K = faktor geometri
- ΔV = beda potensial (volt)
- I = kuat arus (ampere)

Nilai resistivitas semu tiap batuan berbeda, beberapa hal yang dapat mempengaruhi nilai resistivitas semu adalah sebagai berikut (Prasetiawati, 2004):

1. Ukuran butir penyusun batuan, semakin kecil butir batuan tersebut maka semakin baik batuan tersebut dapat

meloloskan arus, sehingga dapat mereduksi nilai tahanan jenis.

2. Komposisi mineral dalam batuan, semakin besar kandungan mineral lempung (*clay*) maka akan membuat batuan tersebut memiliki nilai resistivitas yang rendah.
3. Kandungan air, air tanah atau air permukaan merupakan media yang mereduksi nilai tahanan jeni.
4. Kelarutan garam dapat membuat kandungan ion dalam air pada batuan meningkat sehingga membuat batuan tersebut berfungsi sebagai konduktor.
5. Kepadatan, semakin padat batuan maka nilai resistivitas akan semakin meningkat.

Adapun nilai resisitivitas untuk air dan batuan ditunjukkan dalam Tabel 2.2 dan Tabel 2.3:

Tabel 2.2 Harga tahanan jenis sepesifik batuan (Bisri, 2012)

Lapisan	Resistivitas (Ωm)
Air permukaan	80 - 200
Air tanah	30 - 100
Silt - Lempung	10 - 200
Pasir	100 - 600
Pasir dan Kerikil	100 - 1000
Batu lumpur	20 - 200
Batu pasir	50 - 500
Konglomerat	100 - 500
Tufa	20 - 200
Kelompok Andesit	100 - 2000
Kelompok granit	1000 - 10000
Kelompok chert, slate	200 - 2000

Tabel 2.3 Kisaran nilai resistivitas batuan (Blaricom, 1998)

Rock Type	Resistivity Range (Ωm)
<i>Igneous and Metamorphic Rocks</i>	
<i>Granit</i>	$3 \times 10^2 - 10^6$
<i>Andesit</i>	$1.7 \times 10^2 - 4.5 \times 10^4$
<i>Lavas</i>	$10^2 - 5 \times 10^4$
<i>Basalt</i>	$10 - 1.3 \times 10^7$
<i>Tuffs</i>	$2 \times 10^3 - 10^5$
<i>Slates various</i>	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
<i>Marble</i>	$10^2 - 2.5 \times 10^8$
<i>Quarzites various</i>	$10 - 2 \times 10^8$
<i>Sediment Rocks</i>	
<i>Consolidates shales</i>	$20 - 2 \times 10^3$
<i>Argilites</i>	$10 - 8 \times 10^2$
<i>Conglomerates</i>	$2 \times 10^3 - 10^4$
<i>Sandstones</i>	$1 - 6.4 \times 10^8$
<i>Limestones</i>	$50 - 10^7$
<i>Dolomite</i>	$3.5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
<i>Unconsolidates wet clay</i>	20
<i>Marls</i>	3 – 70
<i>Clays</i>	1 – 100
<i>Alluvium and sands</i>	10 – 800
<i>Oil sands</i>	4 – 800
<i>Soil and Water</i>	
<i>Groundwater</i>	$0.1 - 10^3$
<i>Brackish water</i>	0.2 – 1
<i>Sea water</i>	0.2

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

3.1.1 Waktu Pelaksanaan

Tugas akhir ini berlangsung selama empat bulan yaitu pada bulan Februari 2018 s/d Mei 2018. Tugas akhir ini terdiri dari kegiatan studi, akuisisi data, pengolahan data, interpretasi data serta analisis data dan penyusunan laporan.

3.1.2 Tempat Pelaksanaan

Tugas akhir ini dilaksanakan di Desa Pesanggrahan, Kecamatan Batu, Kota Batu Jawa Timur dan secara astronomis terletak pada koordinat $7^{\circ}51'35.05''$ - $7^{\circ}53'31.04''$ Lintang Selatan dan $112^{\circ}29'35.65''$ - $112^{\circ}31'15.89''$ Bujur Timur. Lokasi penelitian ditunjukkan dengan kotak merah pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Daerah penelitian (*Google Earth*, 2018)

3.2 Peralatan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam pengambilan data pada penelitian ini, yaitu (Gambar 3.2):

- *Resistivitymeter* merk OYYO Tipe McOhm-EL
- *ACCU*
- Elektroda arus dan elektroda potensial (4 buah)
- Kabel listrik (4 buah)
- Palu (4 buah)
- *Handy talky* (4 buah)
- *Toolkit*
- GPS
- Meteran
- Lembar data dan alat tulis
- Papan dada
- Laptop
- Payung



Gambar 3.2 Peralatan akuisisi (Dokumentasi pribadi, 2018)

3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode geolistrik resistivitas yang mempelajari sifat arus listrik pada batuan di bawah tanah berdasarkan perbedaan nilai resistivitasnya sehingga akan didapatkan gambaran kondisi struktur batuan di bawah permukaan tanah. Prinsip dari metode ini yaitu dengan menginjeksikan arus listrik searah (*DC*) melalui dua buah elektroda arus ke bawah permukaan tanah, kemudian beda potensial diamati setelah mendapatkan respon dari dua buah elektroda potensial yang berada di tempat lain.

3.4 Proses Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Akuisisi Data

Untuk proses akuisisi data di daerah penelitian, konfigurasi yang digunakan yaitu konfigurasi *Schlumberger*. Proses akuisisi data pada penelitian ini dilaksanakan beberapa tahap pelaksanaan yaitu:

1. Penentuan titik sounding di daerah penelitian

Sebelum melakukan pengambilan data, perlu dilakukan survei lapangan terlebih dahulu terhadap daerah yang akan dilakukan penelitian. Survei ini meliputi pengamatan kondisi geografis daerah berdasarkan peta geologi. Selanjutnya dilakukan perencanaan posisi titik *sounding*, jarak elektroda, dan panjang lintasan di tiap-tiap titik pengukuran.

2. Penempatan titik *sounding* di daerah penelitian

Setelah survei lapangan selesai dilakukan dan telah didapatkan posisi yang tepat untuk titik pengukuran, selanjutnya adalah mempersiapkan peralatan untuk digunakan dalam pengambilan data.

3. Pengambilan data

Proses pengambilan data dilakukan dengan menggunakan teknik *Vertical Electrical Sounding* (VES) dengan konfigurasi *Schlumberger* dengan jumlah titik *sounding* sebanyak 7 titik *sounding* yaitu Pesanggrahan PSG 1 – PSG 7. Masing-masing titik *sounding* memiliki panjang

bentangan elektroda arus A dan B hingga mencapai 125 meter, dengan spasi antar elektroda potensial M dan N berjarak 5 meter.

Sebelum dilakukan pengambilan data, dipersiapkan terlebih dahulu tabel pengambilan data untuk mencatat hasil data pengukuran dan data-data yang dibutuhkan saat di lapangan. Tabel pengambilan data tersebut meliputi koordinat titik pengukuran, elevasi, nomor, panjang lintasan elektroda arus A dan B dalam satuan meter, *datum point n*, arus *I* dalam satuan mA, dan resistansi *R* seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Tabel Akuisisi Data

Koordinat :							
Elevasi :							
No	AB (m)	n	I(mA)	R1 (Ω)	R2 (Ω)	R3 (Ω)	R4 (Ω)

Adapun langkah-langkah dalam proses pengambilan data, yaitu:

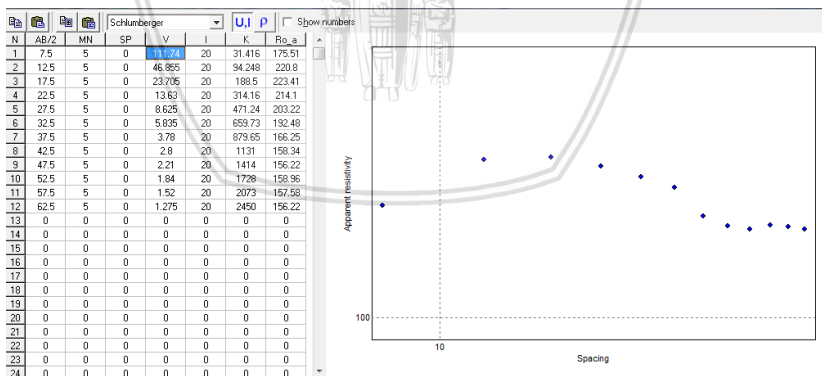
- i. Memasang empat buah elektroda yaitu dua elektroda arus dan dua buah eektroda potensial, dengan jarak awal 5 meter pada masing-masing elektroda. Dan elektroda ditempatkan sesuai dengan konfigurasi *Schlumberger*.
- ii. Menghubungkan keempat elektroda dengan alat *Resistivimeter* McOhm-EL menggunakan 4 buah kabel listrik.
- iii. Mengaktifkan alat *Resistivimeter*, kalibrasi alat dengan besar arus yang diinjeksikan sebesar 20 mA, dan menginjeksikan arus tersebut sebanyak 4 kali ke dalam tanah untuk mendapatkan resistansi rata-rata saat perhitungan.

- iv. Mencatat nilai resistansi yang didapatkan dari tampilan digital alat *Resistivimeter* dalam satuan ohm.
- v. Mengubah posisi elektroda arus sesuai konfigurasi *Schlumberger* dengan jarak yang telah ditentukan hingga mencapai seluruh panjang lintasan

3.4.2 Pengolahan Data

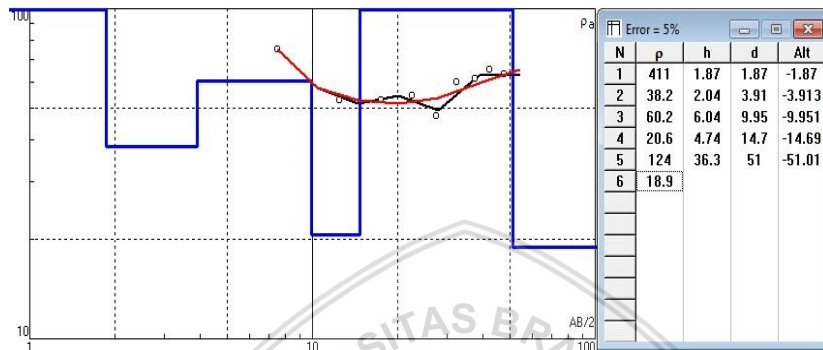
Dari data hasil pengukuran dilapangan, selanjutnya dilakukan proses pengolahan data. Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan melalui tiga tahap. Pertama, tabel data hasil pengukuran dimasukkan ke dalam perangkat lunak *Microsoft Excel* yang digunakan untuk melakukan perhitungan manual agar didapatkan nilai tegangan V , faktor geometri K , rata-rata nilai resistansi R , $AB/2$, dan nilai resistivitas semu ρ_a . Nilai resistivitas semu yang diperoleh dari perhitungan manual, selanjutnya dibandingkan dengan nilai resistivitas yang otomatis didapatkan dalam software *IPI2Win*.

Kedua, data hasil perhitungan berupa $AB/2$, jarak elektroda potensial (MN), tegangan V , arus I , dimasukkan kedalam perangkat lunak *IPI2Win* sehingga didapatkan faktor geometri K dan nilai resistivitas semu ρ_a seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.3 Input data geolistrik pada software *IPI2win*

Hasil dari perhitungan resistivitas diplot secara langsung berupa kurva *sounding*. Kemudian didapatkan nilai resistivitas tiap lapisan batuan (ρ), ketebalan tiap lapisan (h), nilai kedalaman (d), dan ketinggian atau kedalaman dari titik pengukuran (Alt) seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.4 Kurva *sounding*

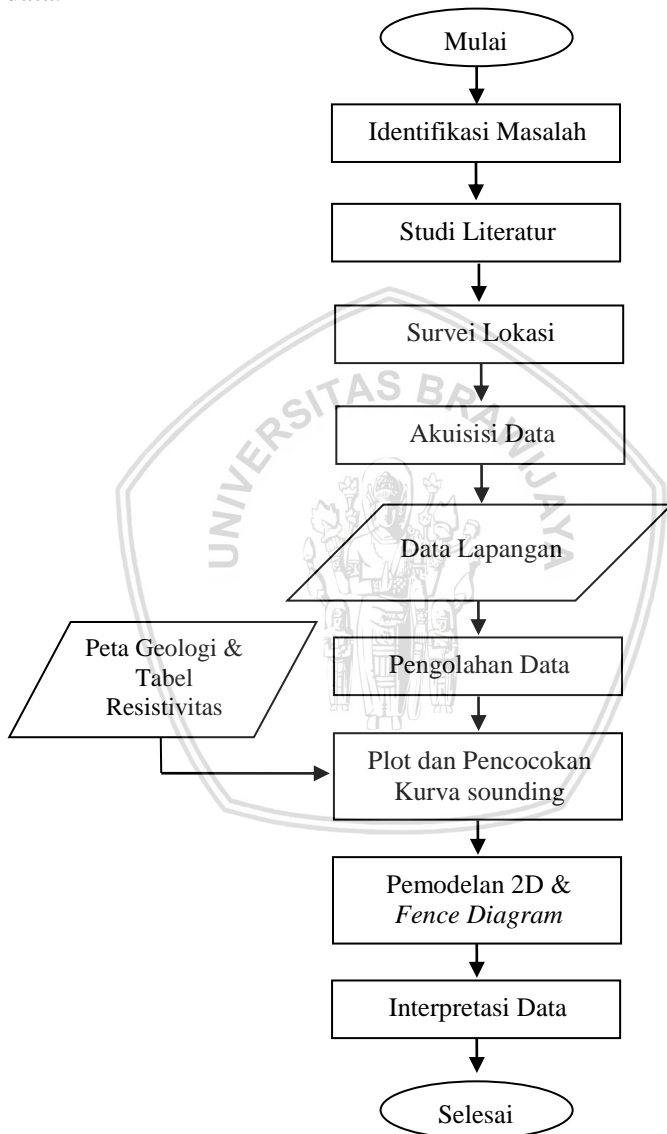
Ketiga, dilakukan pemodelan menggunakan perangkat lunak *RockWorks16* dengan memasukkan data hasil perhitungan berupa koordinat, kedalaman tiap lapisan, dan nilai resistivitas tiap lapisan. Kemudian akan didapatkan gambaran bawah permukaan hasil interpolasi setiap titik *sounding*.

3.4.3 Interpretasi Data

Interpretasi data dilakukan dengan melihat kondisi bawah permukaan daerah penelitian, menentukan potensi keberadaan air tanah berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan dalam perangkat lunak *IP12Win* dan *RockWorks16* dengan mengkorelasikannya menggunakan peta geologi daerah penelitian.

3.4.4 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir ini meliputi kerangka kerja dan alur pengolahan data.



Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

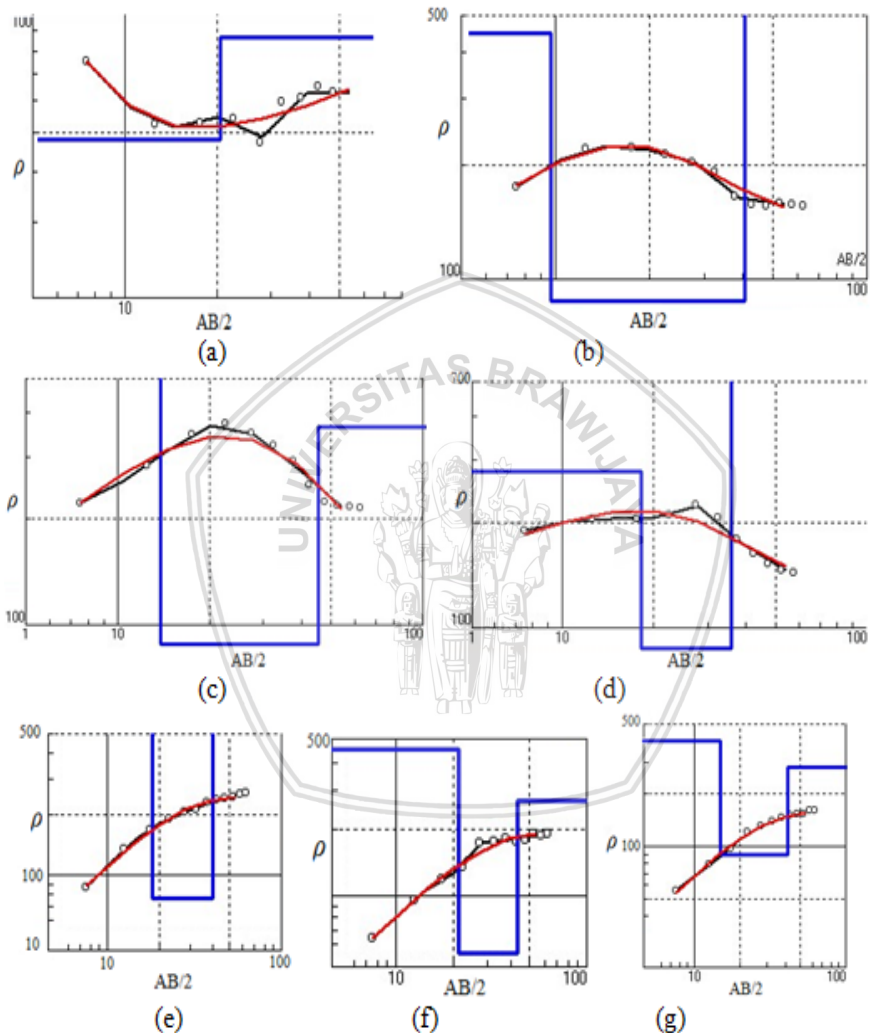
Prinsip dasar dari metode geolistrik ini adalah dengan memanfaatkan respon resistivitas batuan bawah permukaan terhadap arus listrik yang diinjeksikan dalam besaran tertentu ke dalam bawah permukaan tanah sehingga dapat terukur nilai beda potensial dan nilai resistivitasnya berdasarkan parameter arus dan beda potensialnya. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi *Schlumberger*. Pada konfigurasi ini, kedalaman penetrasi yang didapatkan bergantung pada panjang bentangan, semakin panjang bentangan maka akan semakin dalam pula penetrasi yang dihasilkan.

Akuisisi data pada penelitian ini telah dilaksanakan di Desa Pesanggrahan, Kecamatan Batu, Kota Batu Jawa Timur dan secara astronomis terletak pada koordinat $7^{\circ} 51' 35.05''$ - $7^{\circ} 53' 31.04''$ Lintang Selatan dan $112^{\circ} 29' 35.65''$ - $112^{\circ} 31' 15.89''$ Bujur Timur. Pengukuran dilakukan pada 7 titik *sounding* yaitu PSG 1 – PSG 7. Setiap titik *sounding* memiliki bentangan hingga 125 meter dengan spasi antar elektroda potensial M dan N tetap yaitu 5 meter, namun pada elektroda arus A dan B meningkat dari 5 meter hingga 125 meter.

Pengolahan data dilakukan dengan bantuan *software IPI2Win* dengan menghasilkan nilai resistivitas batuan tiap lapisan yang selanjutnya dapat diinterpretasikan jenis lapisannya berdasarkan nilai resistivitasnya. Data yang diperlukan dalam pengolahan data menggunakan *software IPI2Win* yaitu berupa nilai $AB/2$ (jarak antara elektroda arus dibagi dua), MN (jarak elektroda potensial), V (beda potensial), I (arus), K (faktor geometri) dan ρ_a (resistivitas semu) dari tiap titik *sounding*. Data-data tersebut didapatkan dari hasil perhitungan matematis data geolistrik terlebih dahulu menggunakan *software Microsoft Excel*.

4.2. Kurva Sounding

Hasil pengolahan data dari *software* IPI2win pada titik PSG 1 hingga PSG 7 ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil kurva *sounding* (a) PSG 1 (b) PSG 2 (c) PSG 3 (d) PSG 4 (e) PSG 5 (f) PSG 6 (g) PSG 7

Setelah data tersebut diproses di *software IPI2Win*, dihasilkan kurva *sounding* dan selanjutnya dilakukan proses pencocokan kurva hasil dari plot nilai resistivitas semu dengan kurva teori atau disebut *curve matching* sehingga menghasilkan informasi nilai resistivitas tiap lapisan batuan (ρ), ketebalan tiap lapisan (h), nilai kedalaman (d). Pencocokan kurva ini dilakukan sebagai proses *trial-error* untuk selanjutnya mendapatkan nilai *error* terkecil.

Pada gambar 4.1 didapatkan kurva *sounding* hasil dari pengolahan menggunakan *software IPI2win*. Terdapat 3 kurva yang ditunjukkan dengan warna berbeda, yaitu kurva berwarna hitam merupakan plot data resistivitas semu dari perhitungan hasil pengukuran dilapangan. Kurva berwarna biru merupakan plot variasi nilai resistivitas terhadap kedalaman untuk tiap lapisan. Kurva merah merupakan kurva tentang informasi nilai resistivitas (ρ) yang bereleasi dengan kedalaman ($AB/2$). Kurva berwarna merah dijadikan sebagai parameter pembanding antara hasil pengolahan *software* dengan hasil perhitungan resistivitas semu (kurva hitam) yang menghasilkan nilai *error* terkecil. Pada gambar, sumbu x vertical merupakan nilai resistivitas sedangkan sumbu y horizontal merupakan nilai kedalaman.

Parameter ketebalan lapisan dan nilai resistivitas sebenarnya dihitung satu persatu dari ujung awal kurva dengan memotong bagian kurva menjadi beberapa bagian. Dalam penelitian ini kurva dibagi atas 4 bagian sehingga membentuk pendugaan lapisan sebanyak 4 lapisan. Setelah dilakukan pencocokan kurva lapangan dan kurva teori dengan mendapatkan *error* terkecil, maka didapatkan nilai resistivitas tiap lapisan yang sebenarnya, ketebalan lapisan, dan kedalaman seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1. Hasil dari pengolahan data menggunakan *software IPI2win* serta analisis yang dilakukan, selanjutnya dicocokkan dengan litologi dari stratigrafi daerah yang disurvei.

Tabel 4.1 Hasil perhitungan kurva sounding

No	Titik Sounding	error	Lapisan	ρ (Ω m)	h (m)	d (m)
1	PSG 1	5,19%	I	173	2,71	0-2,71
			II	21,3	0,894	2,71-3,6
			III	48,2	16,9	3,6-20,5
			IV	86,3	Tidak terukur	20,5-tidak terukur
2	PSG 2	2,53%	I	95,9	2,64	0-2,64
			II	448	7,04	2,64-9,67
			III	85,4	30,9	9,67-40,5
			IV	86,3	Tidak terukur	40,5-tidak terukur
3	PSG 3	3,92%	I	145	3,38	0-3,38
			II	279	14,8	3,38-18,2
			III	44,3	17,7	18,2-35,9
			IV	589	Tidak terukur	35,9-tidak terukur
4	PSG 4	4,71%	I	128	3,28	0-3,28
			II	759	10,5	3,28-13,8
			III	48	31,6	13,8-45,5
			IV	364	Tidak terukur	45,5-tidak terukur
5	PSG 5	2,08%	I	52	3,91	0-3,91
			II	591	14,3	3,91-18,2
			III	76,3	22,1	18,2-40,3
			IV	691	Tidak terukur	40,3-tidak terukur
6	PSG 6	3,67%	I	38,6	4,13	0-4,13
			II	465	17,2	4,13-21,3
			III	54,9	22	21,3-43,4
			IV	270	Tidak terukur	43,4-tidak terukur
7	PSG 7	2,00%	I	31,1	3,88	0-3,88
			II	401	11	3,88-14,8
			III	89,5	26,5	14,8-41,3
			IV	283	Tidak terukur	41,3-tidak terukur

4.3 Interpretasi Jenis Batuan

Hasil pengolahan data menggunakan *software IPI2win* didapatkan berupa kurva *sounding* dari titik PSG 1 – PSG 7. Dari kurva *sounding* tersebut dapat diidentifikasi berdasarkan rentang nilai resistivitas tiap lapisan batuan yang dikorelasikan dengan tabel nilai resistivitas serta dikorelasikan juga dengan peta geologi di daerah penelitian. Dari semua kurva *sounding*, didapatkan rentang nilai resistivitas yang bervariasi antara 30-750 Ωm . Hasil identifikasi batuan ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil identifikasi batuan

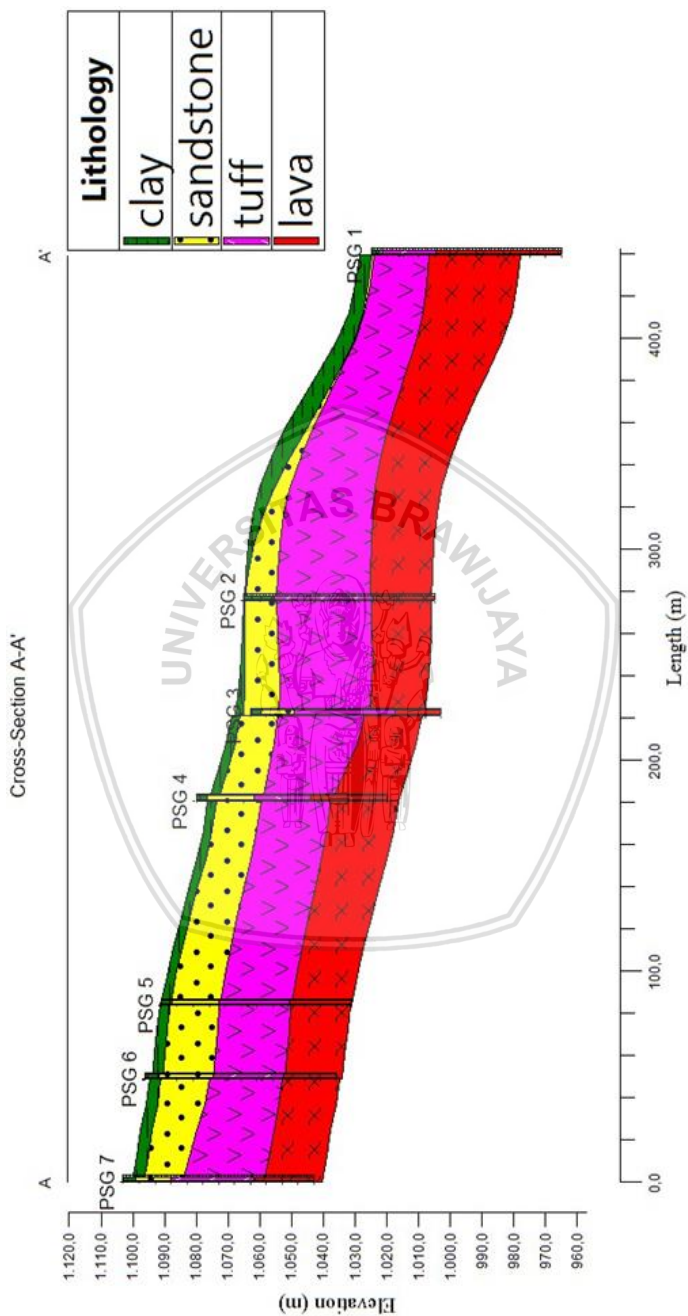
Lapisan	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas (Ωm)	Pendugaan Litologi
1	2–5	2–5	30–170	<i>Clay</i>
2	3–22	1–18	20–750	<i>Sandstone</i>
3	20–46	17–30	50–90	<i>Tuff</i>
4	> 46	Tidak terukur	200–700	<i>Lava</i>

Pada lapisan pertama memiliki rentang nilai resistivitas antara 30-170 Ωm di kedalaman 2–5 m dengan ketebalan lapisan 2–5 m, dari nilai resistivitas yang didapatkan diduga lapisan ini merupakan lapisan *clay*. Lapisan kedua memiliki rentang nilai resistivitas antara 20–750 Ωm di kedalaman 3-22 dengan ketebalan lapisan 1-18 m, dari nilai resistivitas yang didapatkan diduga lapisan ini merupakan lapisan *sandstone*. Lapisan ketiga memiliki rentang nilai antara 50-90 Ωm di kedalaman 20-46 m dengan ketebalan lapisan 17-30 m, dari nilai resistivitas yang didapatkan diduga lapisan ini merupakan lapisan *tuff*. Lapisan keempat memiliki rentang nilai resistivitas antara 200-700 Ωm di kedalaman lebih dari 46 m dengan ketebalan tidak terukur karena hasil dari pengolahan data kurva *sounding* tidak menunjukkan batas akhir dari lapisan tersebut, dan dari nilai resistivitas yang didapatkan diduga lapisan ini merupakan lapisan *lava*.

Pendugaan lapisan batuan yang dilakukan pada penelitian ini merujuk pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 yang merupakan tabel nilai resistivitas batuan yang dikutip dari Blaricom (1998) dan Bisri (2012). Interpretasi litologi batuan juga dilakukan dengan mempertimbangkan penelitian terdahulu yang telah dilakukan sebelumnya pada daerah regional yang sama. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Hidayat (2011) menggunakan metode gravitasi dan oleh Rosyid (2012) menggunakan metode geolistrik resistivitas, telah dilakukan penelitian di daerah Songgoriti, Kota Batu, yang mana secara geologi regional daerah tersebut masih dalam regional yang sama dengan daerah Desa Pesanggrahan. Penelitian tersebut dilakukan untuk mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan, peneliti menginterpretasikan bahwa litologi batuan bawah permukaan yang berada di daerah penelitiannya berupa lempung, batu pasir, tuff, dan lava.

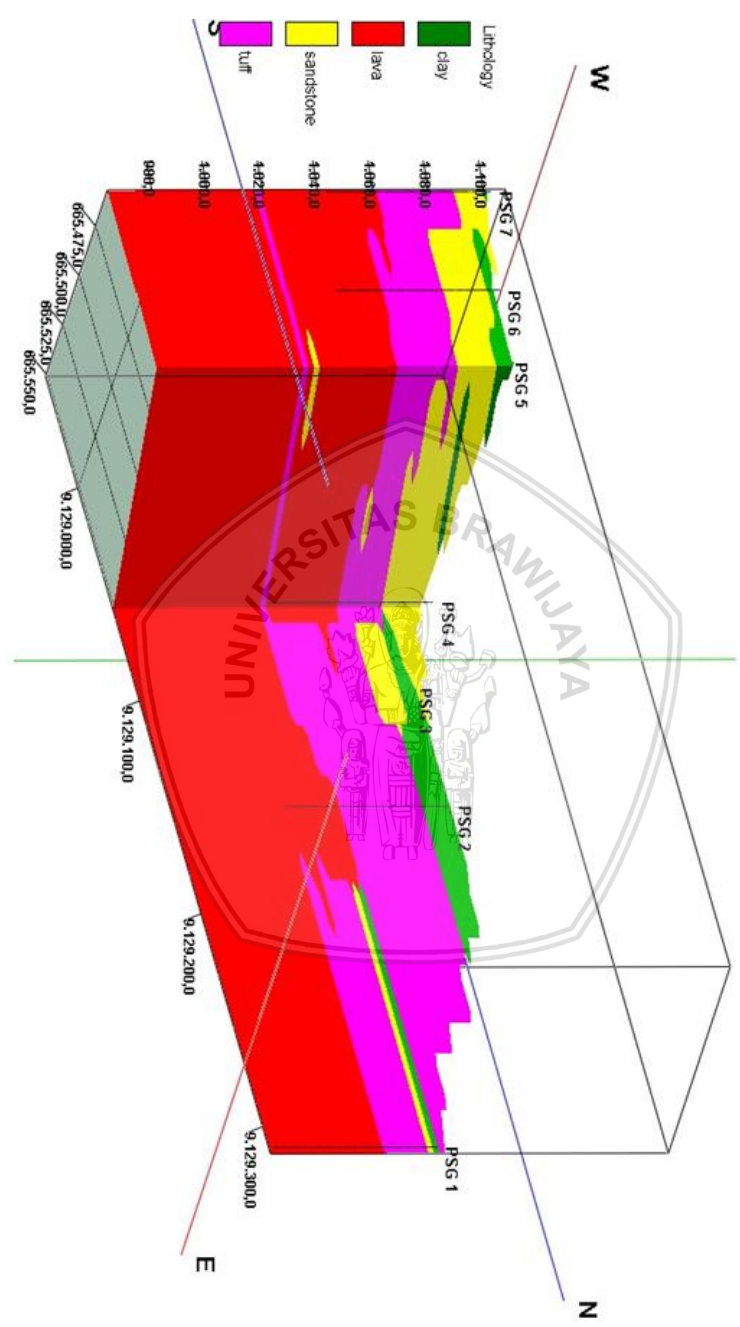
4.4 Hasil Pemodelan 2D dan *Fence Diagram*

Berdasarkan dari pendugaan lapisan batuan tersebut diatas, dilakukan interpolasi setiap titik *sounding* dan dapat dimodelkan menjadi model stratigrafi bawah permukaan secara 2D dan *Fence Diagram* menggunakan *software RockWorks16* untuk dapat menggambarkan struktur lapisan bawah permukaan dari titik-titik pengukuran. Dari model stratigrafi bawah permukaan (Gambar 4.2), didapatkan empat lapisan litologi batuan yang memiliki perbedaan warna di setiap lapisan pada model tersebut. Lapisan pertama berwarna hijau merupakan *clay* yang berada pada elevasi sekitar 1100 mdpl hingga 1025 mdpl. Lapisan kedua berwarna kuning merupakan *sandstone* atau batu pasir yang berada pada elevasi 1097 mdpl hingga 1045 mdpl. Lapisan ketiga berwarna merah muda merupakan *tuff* yang berada pada elevasi 1085 mdpl hingga 1010 mdpl. Dan lapisan keempat berwarna merah merupakan *lava* yang berada pada elevasi 1058 mdpl hingga ketinggian yang tidak dapat terukur, namun dari hasil permodelan stratigrafi ini diasumsikan batas akhir dari lapisan paling bawah berkisar antara 10-20 meter dari nilai akhir kedalaman yang didapatkan pada setiap kurva *sounding*. Hal ini dilakukan untuk mempermudah dalam permodelan stratigrafi bawah permukaan.



Gambar 4.2 Model stratigrafi bawah permukaan

Gambar 4.3 Fence Diagram



Fence Diagram (Gambar 4.3) didapatkan dari *cross section* titik pengukuran PSG 1 – PSG 7 dengan menginterpolasi tiap titik *sounding* yang dilihat dari koordinatnya, karena pada pengukuran data dilakukan pada kondisi lapangan yang tidak benar-benar garis lurus seperti yang digambarkan pada model 2 dimensi.

4.5 Potensi Keberadaan Air Tanah

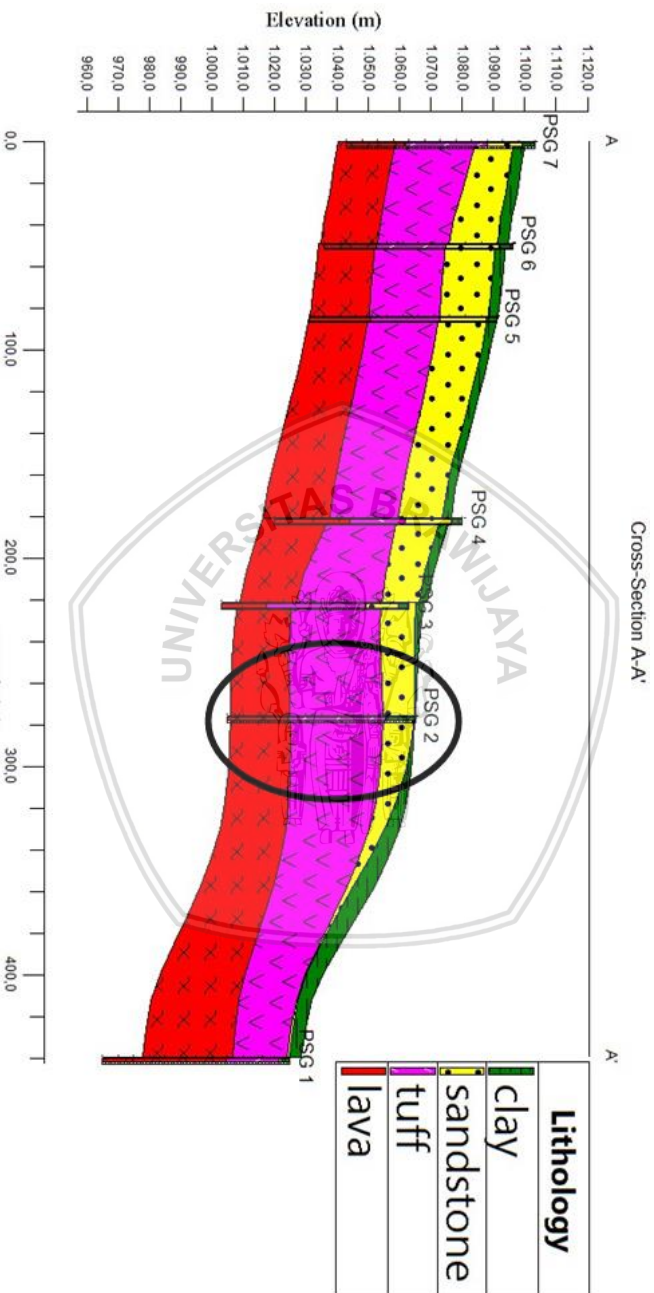
Berdasarkan hasil identifikasi batuan pada Tabel 4.2, hasil permodelan 2D pada Gambar 4.2, dan *Fence Diagram* pada gambar 4.3, lapisan batuan yang diduga sebagai batuan pembawa air tanah atau akuifer yaitu batuan *tuff*. Lapisan *tuff* merupakan lapisan ketiga yang berada pada kedalaman berkisar antara 20 – 36 meter atau berada pada ketinggian 1085 hingga 1030 mdpl dengan ketebalan mencapai 30 meter. Lapisan *tuff* di daerah penelitian memiliki nilai resistivitas sebesar 50-90 Ω m.

Batuan *tuff* merupakan batuan yang berasal dari konsolidasi abu vulkanik yang dikeluarkan selama letusan gunungapi. *Tuff* merupakan salah satu batuan yang memiliki porositas dan permeabilitas yang baik. Apabila suatu batuan memiliki porositas yang baik maka batuan tersebut memiliki kemampuan yang baik dalam menyimpan air. Dan apabila suatu batuan memiliki permeabilitas yang baik maka batuan tersebut memiliki kemampuan yang baik dalam meloloskan air.

Pendugaan akuifer juga dapat dilihat dari hasil permodelan, terdapatnya lapisan *lava* yang berada di lapisan keempat. *Lava* merupakan batuan *impermeable* yang batuan tersebut tidak memungkinkan untuk meloloskan air sehingga air dapat tertahan pada lapisan di atasnya yaitu lapisan *tuff*. Akuifer di daerah penelitian merupakan akuifer bebas (*unconfined aquifer*) karena akuifer ini dibatasi oleh lapisan *impermeable* dibawahnya yaitu *lava*, namun pada bagian atas dibatasi oleh lapisan yang *permeable* yaitu lapisan batu pasir (*sandstone*).

4.6 Penentuan Titik Bor Air Tanah

Penentuan titik bor dapat dilakukan dengan meninjau dari hasil pemodelan 2D dan *Fence Diagram*.



Gambar 4.4 Lokasi titik bor yang berpotensi

Pada daerah penelitian, daerah yang paling berpotensi untuk dilakukan pengeboran yaitu pada titik PSG 2 (Gambar 4.4). Titik tersebut paling berpotensi karena memiliki lapisan akuifer yang lebih tebal dibandingkan dengan titik yang lain. Selain itu, lapisan batas atas akuifer tersebut memiliki lapisan yang dangkal sehingga tidak perlu dilakukan pengeboran yang terlalu dalam yaitu pada kedalaman ± 20 meter dari permukaan atau pada elevasi 1060 mdpl.





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Desa Pesanggrahan menggunakan metode geolistrik resistivitas, struktur lapisan bawah permukaan di daerah penelitian terdiri atas 4 lapisan batuan. Lapisan pertama diidentifikasi sebagai lapisan *clay* dengan nilai resistivitas sebesar 30-170 Ωm . Lapisan kedua diidentifikasi sebagai lapisan *sandstone* dengan nilai resistivitas sebesar 20-750 Ωm . Lapisan ketiga diidentifikasi sebagai lapisan *tuff* dengan nilai resistivitas sebesar 50-90 Ωm . Dan lapisan keempat diidentifikasi sebagai lapisan *lava* dengan nilai resistivitas sebesar 200-700 Ωm .

Lapisan batuan yang diidentifikasi sebagai lapisan pembawa air atau lapisan akuifer berada pada lapisan ketiga yaitu lapisan *tuff*. Lapisan *tuff* berada di kedalaman 20 m hingga 36 meter atau berada pada ketinggian 1085 mdpl hingga 1030 mdpl.

Berdasarkan hasil analisis pemodelan, penentuan lokasi titik bor ditentukan melalui beberapa pertimbangan, yaitu kedalaman serta ketebalan lapisan akuifer, dan akses menuju titik bor. Lokasi pengukuran yang memungkinkan dilakukannya pengeboran yaitu titik PSG 2 yang terletak pada koordinat $7^{\circ} 52' 32,4''$ LS dan $112^{\circ} 30' 06''$ BT.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, terdapat saran yang dapat disampaikan yaitu perlu adanya survei lebih lanjut dengan menggunakan metode lain sehingga dapat dijadikan data pendukung dalam penentuan tiap lapisan batuan penyusun disekitar daerah penelitian.



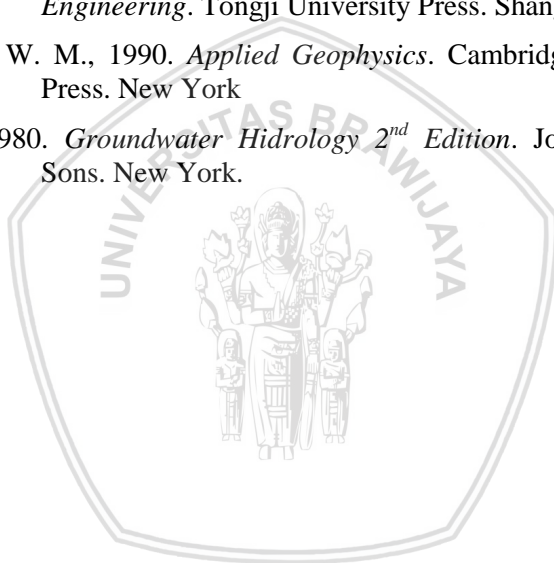
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, M. R., dan Prastumi. 2013. *Pengembangan Sumberdaya Air*. UB Press. Malang.
- Asmaranto, R. 2012. *Sifat Fisik Tanah dan Air Tanah*. Jurnal Teknik Pengairan UB, pp. 1-29.
- Aufahaq, R. R. 2017. *Pendugaan Potensi Keberadaan Air Tanah di Desa Ganjaran Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Bisri, M. dan Sholichin, M. 2012. *Pendugaan Potensi Air Tanah*. UB Press. Malang.
- Blaricom, Richard Van. 1988. *Practical Geophysics for The Exploration Geologist*. Northwest Mining Association. USA
- Carlson, D. 2011. *Physical Geology: Earth Revealed 9th Edition*. McGraw-Hill. USA.
- Crawford, M. 1998. *Physical Geology Cliffs Quick Review First Edition*. Cliffs Notes, Inc. USA
- Danaryanto, H. 2005. *Air Tanah di Indonesia dan Pengelolaannya*. Departemen ESDM. Jakarta.
- <https://www.nationalgeographic.org/media/aquifer-illo.>, tanggal akses: 1 April 2018.
- <https://water.usgs.gov/edu/watercyclesummary.html>., tanggal akses: 27 Maret 2018.
- Hidayat, N., Basid, A. 2011. *Analisis Anomali Gravitasi Sebagai Acuan Dalam Penentuan Struktur Geologi Bawah Permukaan Dan Potensi Geothermal*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang
- Hussein, Teuku M. R. 2017. *Pendugaan Potensi Keberadaan Air Tanah Menggunakan Electrical Resistivity Method*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Jain, S. 2014. *Fundamental of Physics Geology*. Springer. India.

- Kodoatie, Robert J. 2012. *Tata Ruang Air Tanah*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Koesoemadinata, 1980. *Geologi Minyak dan Gasbumi. Edisi kedua. Jilid 2*. Penerbit ITB. Bandung.
- Kruseman, G.P., De Ridder, N.A., Verweij, J.M. 1991. *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. International Institute for Land Reclamation and Improvement. The Netherlands*.
- Loke, M. 1999. *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies*. Terraplus. Kanada.
- Nurwidyanto, M. I., Noviyanti, I., Widodo, S. 2005. *Estimasi Hubungan Porositas dan Permeabilitas pada Batupasir (Study Kasus Formasi Kerek, Ledok, Selorejo)*. Penerbit UNDIP, Semarang.
- Prasetiawati, L. 2004. *Aplikasi Metode Resistivitas dalam Eksplorasi Endapan Laterit Mangan Serta Studi Perbedaan Ketebalan Endapannya Berdasarkan Morfologi Lapangan*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Puntu, J. M. 2016. *Penentuan Lokasi Pengeboran Air Tanah di Wilayah Perumahan Tlogomas Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Dipole-dipole*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Rakhman, Hanna A. 2012. *Pendugaan Sebaran Lapisan Akuifer dengan Metode Geolistrik VES (Vertical Electrical Sounding) di Kabupaten Pasuruan Bagian Barat dan Timur*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Reynolds, J.M. 2011. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley and Sons, Ltd. India.
- Rosyid, M.I., Zulaikah, S., Hidayat, S., 2012. *Pemanfaat Metode Geolistrik Resistivitas Untuk Mengetahui Struktur Geologi Sumber Air Panas di Daerah Songgoriti Kota Batu*. Universitas Negeri Malang. Malang

- Santosa, S. 1992. *Peta Geologi Lembar Malang, Jawa Timur*. PPPG. Bandung.
- Santosa, Djoko. 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. ITB. Bandung.
- Sosrodarsono, S., Takeda, K. 2003. *Hidrologi untuk Pengairan*. PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- Tachjudin. 1990. *Metoda Eksplorasi Tahanan Jenis. Laboraturium Geofisika dan Vulkanologi*. Jurusan Teknik Geologi ITB. Bandung
- Tang, Y., Zhou, J., Yang, P., Zhou, N. 2016. *Groundwater Engineering*. Tongji University Press. Shanghai.
- Telford, W. M., 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press. New York
- Todd. 1980. *Groundwater Hidrology* 2nd Edition. John Wiley & Sons. New York.





(Halaman ini sengaja dikosongkan)